Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 18, No. 1, Apr. May. 2022, p. 1- 20

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۸، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۱ ص.۲۰-۱

Homepage: http://ifstrj.um.ac.ir

Full Research Paper

Optimization of reduced-fat aerated sauce production process by response surface methodology and evaluation of its physicochemical and sensory properties

Farinaz Saremnejad Namini[1], Mohebbat Mohebbi*[2], Arash Koocheki[2]

Received: 2020.05.13
Accepted: 2020.08.01

How to cite this article:
Saremnejad Namini, F., Mohebbi, M., Koocheki, A. (2022). Optimization of reduced-fat aerated sauce production process by response surface methodology and evaluation of its physicochemical and sensory properties. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*. *18* (1), 1-20.

Abstract

Introduction: Increasing diet-linked diseases and following that the consumers ongoing desire for healthier foods makes reduced-fat products of outstanding importance in the food industry. This study aims to reduce the fat content of sauces as a traditional condiment through the incorporation of air bubbles in the oil phase. Response surface methodology (RSM) was used for identifying the effect of aeration process variables on foam properties. However, the main challenge of reduced-fat foods is to ensure their acceptability. Recently fat taste has been introduced as a sixth basic taste. Fatty acids have been considered as the stimulus for this taste. So, linoleic acid as the stimulus for fat perception was added to the formulation to develop a product that tastes almost like full-fat versions but contains less fat. The advantages of aerated foods over conventional products are clear. Nonetheless, the determination of quality and sensory parameters during storage, marketing, and consuming is necessary. For this purpose, produced aerated sauces, along with commercial full- and reduced-fat sauces, were compared by measuring the acidity, pH, oxidative stability, and sensory properties.

Materials and Methods: Required amounts of mono- and diglyceride (MDG) and oil were mixed. Then nonaqueous foams were generated by whipping the MDG-oil mixtures. In the optimization study, the effect of MDG concentrations (2, 6, and 10 wt. %), whipping speed (1100, 3250, and 5400 rpm) and time (5, 15, and 25 min) on foam properties (overrun and drainage) was analyzed using RSM. The foam obtained from the optimum process condition was used to produce an aerated reduced-fat sauce. Sauce preparation was performed according to a usual recipe with the difference that the fat content was replaced by nonaqueous foam. Furthermore, 3.00 mM of linoleic acid as a fat taste stimulus was added to the formulation. First, an aqueous phase containing ingredients was prepared. Then nonaqueous foam was progressively incorporated in the aqueous phase. For the purposes of comparison, aerated sauces (0 and 3.00 mM stimulus), along with commercial sauces (zero, low, and full-fat), were analyzed by measuring the pH, acidity, oxidative stability, and sensory properties.

Results and Discussion: According to the results of the optimization study, the desired foam (overrun ≥ 60 %) achieved by oil containing 10 wt. % MDG at 3400 rpm for 10 min. Overrun increased progressively with MDG concentration but decreased slightly above 10 wt. % due to the difficulty of dispersing air bubbles in such a viscous gel. Considering the effect of whipping speed, and time, it was observed that mixtures reached their maximum volumes within 25 min. With a further increase in the whipping rate, the time required to achieve the maximum amount of foam was decreased. However, at high whipping speed (5400 rpm), foam volume decreased rapidly with time, and almost a lot of foam collapsed. The lowest and highest pH was related to zero and full-fat commercial sauces, respectively. There was no difference (p>0.05) between the pH of the control and the linoleic acid containing aerated, as well as low-fat sauces. Over time, as the pH decreases, the acidity of the aerated sauces increased and making the products with

١ and 2. Ph.D. Student and Professor, Department of Food Science & Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
(*Corresponding Author Email: m-mohebbi@um.ac.ir)
DOI: 10.22067/IFSTRJ.V18I1.88987

appropriate microbial stability. Due to the significant reduction of fat amount, oxidation of the aerated sauces was much slower than the full-fat one ($p<0.05$). Appearance, taste, and texture characteristics of aerated sauces provided a sensory profile similar to the full-fat sauce. The aerated sauce containing linoleic acid had higher sensory scores, indicating its general acceptance.

Conclusions: In this study, nonaqueous foam as a new approach for fat replacement in emulsion-based foods such as sauces was practically applied. The optimum aeration process conditions were determined by the help of experimental design. Two types of aerated sauces were prepared based on the linoleic acid concentration, and their physicochemical and sensory characteristics were compared with commercial sauces. The acidity and pH of the sauces were in the standard range, and also their oxidative stability was acceptable during storage time. Generally, the aerated sauce containing linoleic acid had relatively similar sensory profiles to the full-fat sauce. Therefore, it seems that nonaqueous foam could be used successfully to develop reduced-fat alternative foods, which could also be meet the consumers' and marketing requirements.

Keywords: Sauce, Emulsion, Nonaqueous foam, Optimization, Linoleic acid.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 18, No. 1, Apr. May. 2022, p. 1- 20

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۸، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۱ ص.۲۰-۱

مقاله علمی-پژوهشی

بهینه‌سازی فرآیند تولید سس هوادهی شده کم‌چرب به روش سطح پاسخ و ارزیابی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی آن

سیده فریناز صارم‌نژاد نمینی[۱]- محبت محبی*[۲]- آرش کوچکی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۱۱

چکیده

در این مطالعه روش جدید آمادهسازی امولسیون‌های هوا در روغن (کف‌های روغنی) به‌منظور جایگزینی قطره‌های چربی با حباب‌های هوا ارائه شده، اثر غلظت سورفکتانت، سرعت و زمان هوادهی بر میزان تولید و پایداری کف‌ها بررسی شد. شرایط بهینه تولید (هوادهی مخلوط ۱۰ درصد وزنی سورفکتانت با سرعت ۳۴۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه) با روش سطح پاسخ تعیین و کف‌ها برای تولید سس هوادهی شده آماده شدند. لینولئیک اسید به‌عنوان محرک مزه چربی (صفر و ۳ میلی مولار) به سس‌ها اضافه و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی آن‌ها با سس‌های تجاری مقایسه شد. اسیدیته و pH نمونه‌ها در محدوده استاندارد قرار داشتند. بیشترین میزان pH مربوط به سس تجاری پرچرب بود (p<۰/۰۰۰۱). سس تجاری بدون چربی با کم‌ترین میزان pH، اختلاف معنی‌داری با بقیه نداشت (p>۰/۰۵). بین pH سس‌های هوادهی شده (شاهد و حاوی لینولئیک اسید) اختلافی مشاهده نشد. اگرچه با گذشت زمان pH این سس‌ها کمی کاهش یافت، اما این تغییر معنی‌دار نبود (p>۰/۰۵). اعداد پراکسید و مقادیر مالون دی آلدهید نمونه‌های هوادهی شده و تجاری کم‌چرب در مدت هفت روز اختلافی با یکدیگر نداشتند (p>۰/۰۵). به‌طورکلی، روند اکسیداسیون سس پرچرب بسیار سریع‌تر از سایر نمونه‌ها بود. ظاهر، طعم و ویژگی‌های بافتی و پذیرش کلی محصولات هوادهی شده و نمونه‌های تجاری ارزیابی شد. پذیرش کلی سس هوادهی شده شاهد با سس حاوی لینولئیک اسید اختلاف قابل توجهی داشت (p <۰/۰۰۱)، اما پذیرش کلی نمونه حاوی لینولئیک اسید با سس‌های تجاری کم‌چرب و پرچرب معنی‌دار نبود (p>۰/۰۵). بر اساس این نتایج جایگزینی حباب‌های هوا و نیز افزودن محرک مزه چربی در چارچوب برنامه‌های کاهش چربی، می‌تواند تغییرات حسی موثر بر پذیرش مصرف‌کنندگان را به حداقل برساند.

واژه‌های کلیدی: سس، امولسیون، کف روغنی، بهینه‌سازی، لینولئیک اسید.

مقدمه

افزایش روزافزون بیماری‌های مرتبط با تغذیه، مانند بیماری‌های قلبی و عروقی، فشار خون بالا، چاقی و دیابت منجر به تمایل بیش از پیش مصرف‌کنندگان به تهیه و مصرف فرآورده‌های غذایی سالم‌تر شده است (Chung *et al.*, 2013,Chen *et al.*, 2017 ;). از این رو توسعه محصولات کم‌چرب از اهمیت فوق العاده‌ای در صنایع غذایی برخوردار می‌باشد. با این حال، تلاش‌های تولیدکنندگان مواد غذایی برای تولید محصولات کم‌چرب دارای ویژگی‌هایی که با همتایان پرچرب آن‌ها مطابقت داشته باشد، اغلب با چالش مواجه است، چرا که کاهش مقدار چربی می‌تواند بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی غذاها تاثیر بگذارد (McClements, 2015). تغییر ظاهر (ویژگی‌های نوری)، بافت (ویژگی‌های رئولوژیکی)، طعم و نیز ماندگاری (پایداری) محصول در اثر کاهش چربی، پذیرش مصرف‌کنندگان را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Arancibia *et al.*, 2011). بنابراین، تقلید نقش چربی می‌تواند به بهبود ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی محصولات غذایی کم‌چرب کمک کند (Tchuenbou-Magaia *et al.*, 2009). روش‌های مختلفی برای تولید محصولات کم‌چرب با طعم، بافت و احساس دهانی مشابه با محصولات پرچرب ارائه شده است. این روش‌ها شامل استفاده از مواد جایگزین بر پایه چربی مانند السترا (Olestra™) (Bimal and Guonong, 2006)، سالاتریم (SALATRIM™) (Sorensen *et al.*, 2008) و مونوگلیسریدها (Bazmi *et al.*, 2007)؛ ترکیبات هیدروکلوئیدی مانند پروتئین‌ها و صمغ‌ها (Shamsaee *et al.*, 2017,Emadzadeh *et al.*, 2015) و نیز ذرات غیر چربی مانند نانو بلورها (Javidi *et al.*, 2019) می‌باشند. تغییر ترکیب شیمیایی چربی (Rego Costa *et al.*, 2201)، روش‌های نوین فرآوری (مانند هموژنیزاسیون تحت فشار بالا (Aganovic *et al.*, 2018)، ترموسونیکاسیون (Riener *et al.*, 2009)، میکروفلوئیداسیون (Ciron *et al.*, 2011))، تغییر ساختار امولسیون (مانند جداسازی فاز کنترل شده (Garrec *et al.*, 2012 ; Garrec and Norton, 2012)، تجمع کنترل شده قطره‌های چربی (Dickinson, 2012) و تولید امولسیون‌های چندگانه (Oppermann *et al.*, 2016)) نیز از دیگر رویکردهای به‌کار رفته در این زمینه هستند. به تازگی جایگزینی مقدار قابل توجهی از قطره‌های چربی با حباب‌های هوا برای تولید محصولات غذایی سالم‌تر مورد توجه قرار گرفته است (Saremnejad *et al.*, 2020). این روش جدید منجر به

---

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی دکتری و استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
* – نویسنده مسئول: Email: m-mohebbi@um.ac.ir
DOI: 10.22067/ifstrj.v18i1.86882

آماده‌سازی امولسیون‌های هوا در روغن و یا به عبارتی کف‌های روغنی یا غیر آبی می‌شود. در واقع با هوادهی فاز پیوسته روغنی به کمک یکی از روش‌های اصلی ایجاد کف مانند هم‌زدن مکانیکی می‌توان ساختار کف مانند ایجاد کرد (Binks *et al.*, 2016). به کمک پوشاندن سطح مشترک هوا و روغن با نوع خاصی از سورفکتانت‌های آمفیفیلیک دارای نقطه ذوب بالا، این کف‌های روغنی پایدار می‌شوند (Mishima *et al.*, 2016Gunes *et al.*, 2017 ;)، به‌عنوان مثال، Brun و همکاران (۲۰۱۵) از استرهای اسیدهای چرب مونو و دی گلیسرید، که ترکیب خوراکی با درجه غذایی و جرم مولکولی کم می‌باشند، برای تهیه و تثبیت کف‌های روغنی کلزا استفاده کردند. به‌طور مشابه، کاربرد مخلوط‌های سورفکتانت–روغن مختلف مانند الکل چرب ۱–اکتادکانول (Fameau *et al.*, 2015) و میریستیک اسید (Binks *et al.*, 2016) در روغن آفتابگردان، دی گلیسرول مونومیریستات (Shrestha *et al.*, 2010) و دی گلیسرول منولاورات در روغن زیتون گزارش شده است (Shrestha *et al.*, 2008).

علی‌رغم پتانسیل قابل توجه کف‌های روغنی، تحقیقات صورت گرفته در رابطه با به‌کار گیری آن‌ها در توسعه محصولات غذایی کم‌چرب بسیار محدود است. مطالعات اخیر در این رابطه صرفاً محدود به بررسی پارامترهای اصلی کنترل‌کننده تشکیل و پایداری این نوع از کف‌ها بوده است (Friberg, Fameau and Saint-Jalmes, 2017 ; 2010). تاکنون بهینه‌سازی شرایط تولید کف‌های روغنی به‌ویژه از نظر غلظت سورفکتانت و همچنین سرعت و زمان هوادهی مورد توجه قرار نگرفته است. در همین راستا استفاده از روش سطح پاسخ می‌تواند ابزار مفیدی برای بهینه‌سازی شرایط فرآیند تولید کف باشد.

با این وجود، حتی در صورت جایگزینی چربی با هوا ممکن است همچنان این محصولات کم‌چرب به اندازه نمونه‌های مشابه پرچرب برای مصرف‌کنندگان قابل قبول نباشند. چرا که کاهش یا حذف چربی بر ویژگی‌های حسی، به‌ویژه طعم و بافت نیز تاثیرگذار است (González-Tomás *et al.*, 2008). چندین گیرنده و کانال یونی حساس به اسیدهای چرب حاصل از تجزیه تری گلیسیریدها توسط لیپاز زبانی شناسایی شده‌اند (El-Yassimi *et al.*, 2008). در شرایط آزمایشگاهی، با به حداقل رساندن نشانه‌های بویایی و لامسه، مشخص شده که ادراک مزه چربی را می‌توان به حس چشایی نسبت داد (Chale *et al.*, 2007). Running و همکاران (۲۰۱۵) برای توصیف مزه چربی به‌عنوان یک ویژگی حسی واژه جدید اولئوگستوس[1] را پیشنهاد کردند. مطالعات علوم اعصاب شناختی در رابطه با ماهیت چندگانه ادراک طعم، به ویژه روش برهمکنش‌های متقابل[2] یکی از جدیدترین راهکارهای جبران افت ویژگی‌های حسی ناشی از کاهش چربی در محصولات غذایی را فراهم می‌آورد (Spence, 2015). در همین راستا، می‌توان ادراک ویژگی‌های حسی یک محصول حاوی چربی کم‌تر را با افزودن غلظت‌های مناسب محرک‌ها ارتقا داد.

لذا در این مطالعه ایده جدید استفاده از روغن هوادهی شده پایدار برای کاهش چربی در یک محصول غذایی پرمصرف مانند سس ارائه می‌گردد. ابتدا تاثیر غلظت سورفاکتانت و همچنین سرعت و زمان هوادهی بر ویژگی‌های کف از جمله تولید و پایداری آن بررسی می‌شود، سپس بهترین شرایط فرآیند هوادهی برای تولید کف‌هایی با کیفیت و پایداری بالا به کمک روش سطح پاسخ تعیین می‌گردد. بر این اساس پایدارترین کف انتخاب شده و با اضافه کردن سایر ترکیبات، سس هوادهی شده کم چرب تولید می‌شود. اسیدیته، pH، روند اکسیداسیون و ویژگی‌های حسی سس‌های هوادهی شده مورد بررسی قرار گرفته، با نمونه‌های تجاری حاوی درصدهای مختلف چربی مقایسه می‌شود. سرانجام، آزمون ارزیابی حسی برای تجزیه و تحلیل اثر روش برهم کنش‌های متقابل بر ادراک ویژگی‌های حسی انجام شده، سس‌های هوادهی شده با انواع تجاری مقایسه می‌شوند. تمام این راهکارها برای جبران اثرات ناشی از کاهش چربی در سس‌های هوادهی شده و در نتیجه حفظ پذیرش مصرف کنندگان ارائه می‌شود.

مواد و روش‌ها

سورفاکتانت مونو و دی گلیسرید (MDG) با دامنه ذوب ۸۰–۵۰ درجه سانتی‌گراد از شرکت Palsgaard دانمارک و لینولئیک اسید (C۱۸:۲، جرم مولی ۲۸۰/۴۴۷۲ گرم بر مول) از شرکت سیگما–آلدریچ خریداری شدند. روغن آفتابگردان (چگالی نسبی ۰/۹۱۹۱ و ویسکوزیته ۶۸ mPa.s در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد) و سایر مواد مورد استفاده در تهیه سس و همچنین سس‌های تجاری پرچرب، کم‌چرب و بدون چربی از بازار محلی ایران خریداری شدند. سایر مواد شیمیایی مورد استفاده در تجزیه و تحلیل شیمیایی نمونه‌ها نیز با درجه آنالیتیکال از شرکت سیگما آلدریچ و مرک آلمان تهیه شدند.

آماده‌سازی کف روغنی

مقادیر مشخص روغن (با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد) و سورفاکتانت (با نسبت ۱۰–۲ درصد وزنی روغن) هم مخلوط شدند. سپس تمام مخلوط‌ها تا ۸ درجه سانتی‌گراد سرد شدند و بعد اجازه داده شد تا به تدریج تا دمای محیط (۲۵ درجه سانتی‌گراد) گرم شوند. کف‌ها توسط هوادهی مخلوط روغن و سورفاکتانت با استفاده از هموژنایزر اولتراتوراکس (T 25 basic ULTRA-Turrax- IKA) در دمای محیط (۲۵ درجه سانتی‌گراد) به‌دست آمدند.

ارزیابی ویژگی‌های کف روغنی

به‌منظور ارزیابی ویژگی‌های کف‌های تولید شده، افزایش حجم نهایی آن‌ها پس از هوادهی و همچنین حجم مایع زهکشی شده از آن‌ها پس از ۲۴ ساعت، به ترتیب از روابط ۱ و۲ محاسبه شد (Binks :(; Sheng *et al.*, 2018and Marinopoulos, 2017

حجم مخلوط‌ها قبل و بعد از هوادهی در ۲۵ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. تمام اندازه گیری‌ها با سه تکرار انجام و میانگین نتایج گزارش شد.

---

1 Oleogustus
2 Cross modal interaction

(۱) $\times$ ۱۰۰ (حجم مخلوط روغن و سورفکتانت پس از هوادهی − حجم مخلوط روغن و سورفکتانت قبل از هوادهی) / حجم مخلوط روغن و سورفکتانت قبل از هوادهی = افزایش حجم

(۲) $\times$ ۱۰۰ (حجم مخلوط روغن و سورفکتانت پس از هوادهی − حجم مخلوط روغن و سورفکتانت پس از ۲۴ ساعت) / حجم مخلوط روغن و سورفکتانت پس از هوادهی = حجم زهکشی

طراحی آزمایش‌ها و بهینه‌سازی

طرح باکس بنکن در روش سطح پاسخ، برای بررسی اثر غلظت سورفکتانت (درصد)، سرعت (دور در دقیقه) و زمان (دقیقه) هوادهی بر درصد افزایش حجم و حجم مایع زهکشی شده (بر حسب میلی‌لیتر) استفاده شد. برای ارزیابی مناسب‌تری از خطای تکرار، سه تکرار در نقطه مرکزی انجام شد. نمادهای در نظر گرفته شده برای هر متغیر در جدول ۱ نشان داده شده است. متغیرهای مستقل شامل غلظت سورفکتانت (X_1) از ۲ تا ۱۰ درصد، سرعت هوادهی (X_2) از ۱۱۰۰ تا ۵۴۰۰ دور در دقیقه و زمان هوادهی (X_3) از ۵ تا ۲۵ دقیقه متغیر بودند. داده‌های تجربی به یک مدل چند جمله‌ای مطابق معادله (۳) برازش داده می‌شوند:

$$Y = \beta_0 + \beta_1X_1 + \beta_2X_2 + \beta_3X_3 + \beta_{12}X_1X_2 + \beta_{13}X_1X_3 + \beta_{23}X_2X_3 + \beta_{11}X_1^2 + \beta_{22}X_2^2 + \beta_{33}X_3^2 + \varepsilon \quad (۳)$$

جدول ۱- متغیرهای مورد مطالعه در روش سطح پاسخ و سطوح آن‌ها

Table 1-The levels of studied variables in the response level method

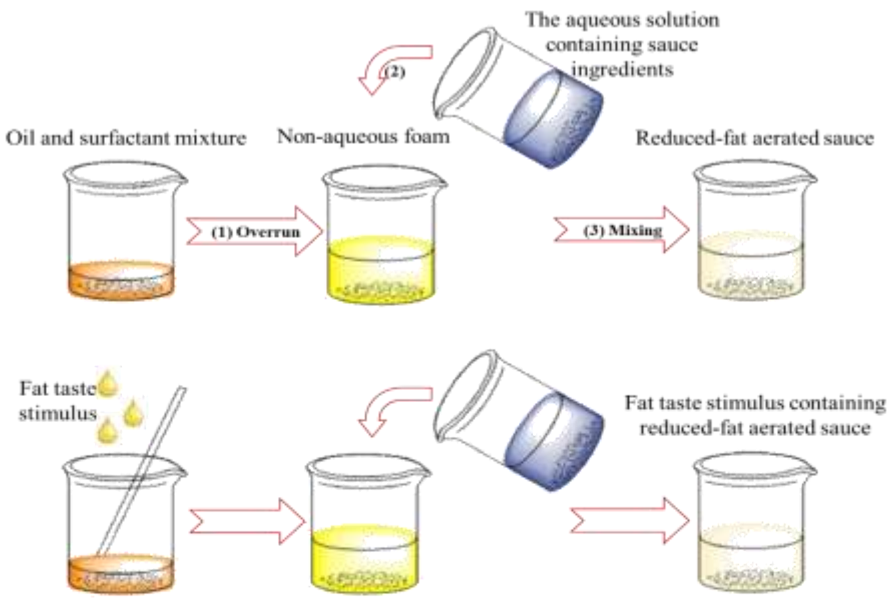
Variables متغیرها		Signs نمادها	Levels سطوح		
Independent مستقل	Surfactant concentration (%) غلظت سورفکتانت (درصد)	X_1	2	6	10
	Whipping speed (rpm) سرعت (دور در دقیقه)	X_2	1100	3250	5400
	Whipping time (min) زمان (دقیقه)	X_3	5	15	25
Responses پاسخ	Overrun (%) افزایش حجم (درصد)	Y_1	-	-	-
	Drainage (mL) مایع زهکشی شده (میلی‌لیتر)	Y_2	-	-	-

که در آن Y پاسخ یا متغیر وابسته؛ β_0 عرض از مبدا؛ β_1، β_2 و β_3 ضرایب رگرسیون خطی؛ β_{11}، β_{22} و β_{33} ضرایب رگرسیون درجه دوم؛ β_{12}، β_{13} و β_{23} ضرایب رگرسیون متقابل؛ X_1، X_2 و X_3 متغیرهای مستقل و ε خطای تصادفی هستند.

بهینه‌سازی با استفاده از روش پیشنهادی توسط Odriozola-Serrano و همکاران (۲۰۰۹) انجام شد. توابع مطلوبیت به‌دست آمده برای هر پاسخ در یک عبارت کلی تحت عنوان میانگین هندسی توابع ترکیب می‌شوند. هرچه مقدار مطلوبیت آزمونی به یک نزدیک‌تر باشد، مناسب‌تر است. در این مطالعه، توابع مطلوبیت برای دستیابی به کف روغنی با بالاترین میزان افزایش حجم و کم‌ترین مقدار مایع زهکشی شده، ایجاد شد. از نرم‌افزار (Stat Ease Inc., MN, US) Design Expert 11.0 برای به‌دست آوردن مدل‌های متناسب با داده‌های تجربی و رسم منحنی‌های سطح پاسخ استفاده شد.

آماده‌سازی سس هوادهی شده

سازمان غذا و دارو سس‌ها (21CFR169.140) را به‌عنوان محصولات غذایی نیمه جامد و یک امولسیون روغن در آب حاوی حداکثر ۸۰ درصد روغن مایع گیاهی (عمدتا سویا، کانولا و زیتون) تعریف کرده است (FDA, 2018). سایر ترکیبات تشکیل‌دهنده سس شامل ادویه، سرکه، شکر و سایر طعم‌دهنده‌ها در فاز آبی می‌باشد. تهیه سس مطابق این دستورالعمل انجام شد، با این تفاوت که ۸۰ درصد وزنی روغن با کف روغنی تهیه شده جایگزین گردید. ابتدا، یک فاز آبی حاوی سایر مواد تشکیل‌دهنده سس با استفاده از همزن دستی (AHB-110B/W ،Apex) به مدت ۱ دقیقه تهیه شد. سپس فاز آبی به تدریج تحت شرایط هم‌زدن دستی و آرام، در دمای محیط به کف روغنی اضافه شد. علاوه بر این لینولئیک اسید به‌عنوان محرک مزه چربی در غلظت معادل با آستانه تشخیص یعنی ۳/۰۰ میلی‌مولار، به کف روغنی اضافه شده و بدین ترتیب سس هوادهی شده کم چرب حاوی محرک مزه چربی نیز تهیه گردید (شکل ۱). سرانجام، نمونه‌های آماده شده به بطری‌های شیشه‌ای درب دار منتقل شده، در یخچال در دمای ۴ درجه سانتی گراد تا زمان تجزیه و تحلیل نگهداری شدند. سس‌های تجاری نیز به‌طور هم زمان برای اهداف مقایسه مورد بررسی قرار گرفتند (جدول ۲).



شکل ۱- مراحل آماده سازی سس‌های هوادهی شده کم‌چرب

ردیف بالا و پایین به‌ترتیب مربوط به نمونه شاهد و نمونه حاوی محرک مزه چربی می‌باشند.

Fig.1. Steps of preparation of reduced-fat aerated sauces

The top and bottom rows are for the control sample and the sample containing the fat taste stimulus, respectively.

پایداری اکسیداتیو سس

استخراج روغن از نمونه‌ها به روش Dos Passos و همکاران (۲۰۱۹) انجام شد. به این صورت که نمونه‌های سس به لوله‌های فالکون منتقل و به مدت ۲۴ ساعت در فریزر منجمد شدند. پس از ذوب شدن، فاز روغنی توسط سانتریفوژ (اروم تجهیز دیجیتال، T.24) با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۵ دقیقه جدا شد. سپس روند اکسیداسیون آن طی هفت روز متوالی (۱، ۳، ۵ و ۷) مورد ارزیابی قرار گرفت.

عدد پراکسید به‌عنوان معیاری از تشکیل ترکیبات اولیه اکسیداسیون، بر اساس تیتراسیون و پیرو روش AOCS Official Method Cd 8b-90, 2017) اندازه‌گیری شد. به این صورت که درون یک ارلن مایر ۲۵۰ میلی‌لیتری، به وزن مشخصی از روغن استخراج شده (M)، حدود ۲۵ میلی‌لیتر محلول استیک اسید و کلروفرم (با نسبت ۲:۳)، ۰/۵ میلی‌لیتر محلول یدور پتاسیم اشباع، ۳۰ میلی‌لیتر آب مقطر و ۰/۵ میلی‌لیتر محلول نشاسته ۱ درصد اضافه گردید. محلول تهیه شده با تیوسولفات سدیم ۰/۱ نرمال (N) تیتر شده و با توجه به حجم مصرفی آن (V)، مقدار پراکسید برحسب میلی‌اکی والان اکسیژن در کیلوگرم روغن استخراجی از را محاسبه گردید:

$$\text{عدد پراکسید} = \frac{N \times V}{M} \times 100 \qquad (۵)$$

عدد تیوباربیتوریک اسید به‌عنوان شاخصی از تشکیل ترکیبات ثانویه اکسیداسیون، طبق روش Dos Passos و همکاران (۲۰۱۹) تعیین شد. ۵۰ میلی‌گرم روغن استخراج شده (M) و ۱۰ میلی‌لیتر ان–بوتانول به یک لوله آزمایش منتقل شده، سپس همگن شدند. مقدار ۲ میلی لیتر از این محلول به لوله آزمایش دیگری منتقل و سپس ۵ میلی لیتر محلول اسید تیوباربیتوریک (۰/۲درصد وزنی حجمیدر ان–بوتانول) به آن اضافه شد. نمونه‌ها در دمای ۹۵ درجه سانتی گراد به مدت ۱ ساعت انکوباتورگذاری شده، سپس میزان جذب آن‌ها (A_s) در ۵۳۲ نانومتر با اسپکتروفتومتر (شیمادزو، ژاپن) تعیین گردید. مقدار تیوباربیتوریک اسید بر حسب یک بر میلی‌گرم از رابطه ۶ محاسبه می‌شود:

$$\text{عدد تیوباربیتوریک اسید} = \frac{50 \times (A_s - A_b)}{M} \times 100 \qquad (۶)$$

که در آن A_b جذب نمونه شاهد است.

ارزیابی حسی

در ارزیابی حسی نمونه‌ها ۱۲ نفر (دانشجوهای دانشگاه فردوسی مشهد، ۵۸ درصد خانم، محدوده سنی ۲۰–۳۰ سال، شاخص توده بدنی ۲۲/۵۸) ارزیاب نیمه آموزش دیده شرکت کردند. روش ارزیابی حسی به‌صورت هدونیک ۹ نقطه‌ای (عدد ۱ کم‌ترین و عدد ۹ بیش‌ترین مطلوبیت) و پارامترهای مورد نظر ظاهر، بافت، طعم و پذیرش کلی بود.

جدول ۲- ترکیبات نمونه‌های مورد مطالعه

Table 2- Sauce samples used in the study

Sauce سس	Ingredients ترکیبات	Fat (per 15g) گرم چربی در هر ۱۵ گرم	Oleic acid concentration غلظت لینولئیک اسید (میلی‌مولار)
Formulated reduced-fat هوادهی شده	Non-aqueous foam, egg yolk, vinegar, sugar, water, spices and seasonings کف روغنی، زرده تخم مرغ، سرکه، شکر، آب، ادویه و سایر طعم‌دهنده‌ها	4.0 g	0.00 (Control) 3.00 mM
Commercial free-fat تجاری بدون چربی	Modified starch, guar gum, xanthan, egg yolk powder, vinegar, sugar, water, lactic acid, citric acid, mustard powder, garlic powder, lemon juice, salt نشاسته اصلاح شده، گوار، زانتان، پودر زرده تخم مرغ، سرکه، شکر، آب، اسید لاکتیک، اسید سیتریک، پودر خردل، پودر سیر، آب لیمو و نمک	0.0 g	-
Commercial low-fat تجاری کم چرب	Modified starch, oil, egg, vinegar, sugar, water, lactic acid, mustard powder, EDTA, salt نشاسته اصلاح‌شده، روغن، تخم مرغ، سرکه، شکر، آب، اسید لاکتیک، پودر خردل، EDTA و نمک	4.7	-
Commercial full-fat تجاری پر چرب	Oil, egg, vinegar, sugar, water, citric acid, mustard powder, sodium benzoate, potassium sorbate, EDTA, salt روغن، تخم مرغ، سرکه، شکر، آب، اسید سیتریک، پودر خردل، بنزوات سدیم، سوربات پتاسیم، EDTA و نمک	9.9 g	-

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

آزمون‌ها در سه تکرار انجام شدند. بررسی اختلافات آماری داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از تجزیه و تحلیل واریانس یک‌طرفه در سطح اطمینان ۹۵ درصد (p <۰/۰۵) و مقایسه دو به دو آن‌ها با آزمون توکی به کمک نرم‌افزار (GraphPad Software, Prism 6 (San Diego, CA, USA انجام شد.

نتایج و بحث

طراحی آزمایش‌ها

مدل‌سازی و آزمون معنی‌داری آماری

در این پژوهش از روش سطح پاسخ باکس بنکن به‌منظور بهینه‌سازی فرآیند تولید کف روغنی استفاده شد. تمامی ۱۷ آزمایش طراحی شده انجام و مقادیر پاسخ های به‌دست آمده در جدول ۳ گزارش شده است.

از بین مدل‌های ارائه شده، مدل چندجمله‌ای مرتبه دوم با ضرایب تبیین برابر ۹۷/۰۱ و ۹۴/۹۴ درصد به‌ترتیب برای متغیرهای پاسخ افزایش حجم و حجم زهکشی طبق روابط ۷ و ۸، برازش شد. علامت مثبت ضرایب رگرسیون پیش‌بینی شده بیانگر تاثیر مستقیم و علامت منفی نیز بیانگر تاثیر معکوس متغیرهای مستقل بر متغیرهای پاسخ است. همچنین مقدار عددی ضرایب نشان‌دهنده میزان تاثیر متغیرهای مستقل بر متغیرهای پاسخ است. اثر متغیرهای غلظت سورفکتانت، سرعت و زمان هوادهی بر افزایش حجم مستقیم و معنی‌دار بود (p<۰/۰۵). اثر متقابل سرعت و زمان هوادهی و عبارت درجه دوم غلظت سورفکتانت بر افزایش حجم نیز معکوس و معنی‌دار بود. غلظت سورفکتانت، سرعت هوادهی و اثر متقابل غلظت سورفکتانت و زمان هوادهی بر حجم زهکشی اثر معکوس و معنی‌دار داشتند. زمان هوادهی، عبارت متقابل غلظت سورفکتانت و سرعت هوادهی و نیز عبارت درجه دوم غلظت سورفکتانت بر حجم زهکشی اثر مستقیم و معنی‌دار داشتند. لازم به ذکر است عبارت‌های غیرمعنادار از مدل چند جمله‌ای مرتبه دوم حذف شده‌اند. بررسی معنی داری برازش معادله‌های چندجمله‌ای مرتبه دوم به داده‌های تجربی ضروری است. لذا، تجزیه و تحلیل واریانس برای آزمودن اعتبار مدل‌ها صورت گرفت. ضرایب رگرسیونی پیش‌بینی شده مدل‌های چندجمله‌ای مرتبه دوم و سایر اطلاعات آماری حاصل از تجزیه و تحلیل واریانس برای متغیرهای پاسخ افزایش حجم و حجم زهکشی به‌ترتیب در جدول ۴ و ۵ ارائه شده است. مدل رگرسیونی مربوط به این پاسخ‌ها در سطح اطمینان ۵ درصد معنی‌دار و آزمون عدم برازش برای متغیرها معنی‌دار نبود. به‌طور کلی این نتایج نشان‌دهنده برازش خوب مدل‌های پیش‌بینی شده به روش سطح پاسخ با داده‌های تجربی می‌باشد.

$$Y_1 = 53.23 + 14.14 X_1 + 3.85 X_2 + 2.58 X_3 - 6.74 X_2X_3 - 5.46 X_1^2 \quad (۷)$$

$$Y_2 = 1.34 – 5.90\ X_1 – 1.93\ X_2 + 1.66\ X_3 + 2.58\ X_1X_2 – 1.49\ X_1X_3+ 3.98\ X_1^2 \quad (۸)$$

جدول ۳- آزمایش‌های طراحی شده به روش سطح پاسخ و پاسخ‌های محاسبه شده در بررسی اثر متغیرهای مستقل بر ویژگی‌های کف

Table 2-Experiments designed by response surface methodology and calculated responses to investigate the effect of independent variables on foam properties

Run* آزمون	Independent variables متغیرهای مستقل			Dependent variables (Responces)** متغیرهای وابسته (پاسخ‌ها)	
	Surfactant concentration (%) غلظت سورفاکتانت (درصد)	Whipping speed (rpm) سرعت همزدن (دور بر دقیقه)	Whipping time (min) زمان همزدن (دقیقه)	Overrun (%) افزایش حجم (درصد)	Drainage (mL) حجم زهکشی (میلی‌لیتر)
	X_1	X_2	X_3	Y_1	Y_2
1	10	1100	25	61.016 ± 1.419	0.333 ± 0.577
2	6	3250	15	52.381 ± 0.639	1.666 ± 0.577
3	6	3250	15	53.488 ± 0.639	2.000 ± 0.577
4	2	3250	15	35.484 ± 2.083	10.000 ± 0.577
5	10	3250	15	60.784 ± 0.854	0.333 ± 0.577
6	10	1100	5	45.840 ± 2.931	0.333 ± 0.577
7	6	5400	15	54.819 ± 2.166	1.666 ± 0.577
8	6	1100	15	45.920 ± 1.462	1.666 ± 0.577
9	6	3250	25	52.750 ± 0.639	3.666 ± 1.000
10	2	1100	25	34.722 ± 2.405	21.000 ± 1.000
11	2	5400	5	37.459 ± 1.955	4.666 ± 0.577
12	6	3250	15	52.381 ± 0.639	1.000 ± 0.577
13	6	3250	5	49.573 ± 0.740	0.333 ± 0.577
14	2	1100	5	11.584 ± 2.749	14.666 ± 1.000
15	10	5400	25	57.434 ± 0.905	1.000 ± 1.000
16	2	5400	25	26.190 ± 0.584	11.000 ± 0.577
17	10	5400	15	61.780 ± 1.149	0.333 ± 0.577

* ترتیب تصادفی بوده و شماره اجراها با ترتیب آزمون‌ها مطابقت ندارد. ** داده‌های نشان داده شده معادل انحراف معیار± میانگین هستند.

* The order is random and the number of runs does not match the order of the experiments.
** The data shown are the standard deviation ± mean.

تجزیه و تحلیل سطوح پاسخ سه بعدی

به‌منظور ارزیابی اثرات متقابل متغیرهای مستقل روی هر یک از متغیرهای پاسخ، منحنی‌های سطح پاسخ برای هر مدل برازش شده ایجاد شد. در شکل ۲-a اثر متقابل غلظت سورفکتانت و سرعت هوادهی بر افزایش حجم نشان داده شده است. قابلیت تولید کف روغنی با افزایش غلظت سورفکتانت تا ۱۰ درصد وزنی افزایش یافت. این روند مشابه روند کلی پذیرفته شده در مورد سیستم‌های آبی است. با افزایش غلظت، بخش وسیع‌تری از سطح مشترک روغن و هوا با سورفکتانت پوشیده شده و تثبیت می‌شود (Binks *et al*., 2011). به‌طور مشابه، در مورد مخلوط روغن آفتابگردان و سورفکتانت الکل چرب ۱-اکتادکانول، میزان افزایش حجم از ۲۰ درصد برای ۲ درصد وزنی به ۷۵ درصد برای ۱۰ درصد وزنی افزایش یافت (Fameau *et al*., 2015). نتایج مشابهی نیز برای مخلوط روغن آفتابگردان و سورفکتانت میریستیک اسید (Binks *et al*., 2011) و روغن زیتون و سورفکتانت‌های دی گلیسرول مونومیریستات و دی گلیسرول منولاورات (Shrestha *et al*., 2008) گزارش شده است. بیشترین مقدار افزایش حجم معادل ۶۵ درصد بود که در غلظت سورفکتانت ۱۰ درصد وزنی با سرعت هوادهی بالای ۴۰۰۰ دور بر دقیقه حاصل شد.

لازم به ذکر است که محصولاتی با این میزان از حجم هوا (افزایش حجم بیش از ۶۰ درصد) به عنوان محصول با هوادهی بالا در نظر گرفته می‌شوند (Campbell and Mougeot, 1999). با افزایش سرعت تا ۵۰۰۰ دور بر دقیقه مقدار افزایش حجم کاهش یافت که ممکن است به‌دلیل اعمال نیروی برشی بالا باشد. در نتیجه اعمال برش مداوم و یا افزایش سرعت آن، هوا وارد سطح آزاد مایع شده و حباب‌های بزرگی ایجاد می‌کند که شکسته شده و منجر به بی ثباتی کف تولید شده می‌شوند (Drenckhan and Saint-Jalmes, 2015).

اثر متقابل غلظت سورفکتانت و زمان هوادهی بر افزایش حجم در شکل ۲-b ارائه شده است. بیشترین مقدار افزایش حجم در غلظت سورفکتانت ۱۰ درصد وزنی تحت هوادهی به مدت ۲۰ دقیقه حدود ۶۴ درصد بود

جدول ٤- نتایج تجزیه و تحلیل واریانس و ضرایب مدل برازش شده به معادله رگرسیونی درجه دوم متغیر پاسخ افزایش حجم

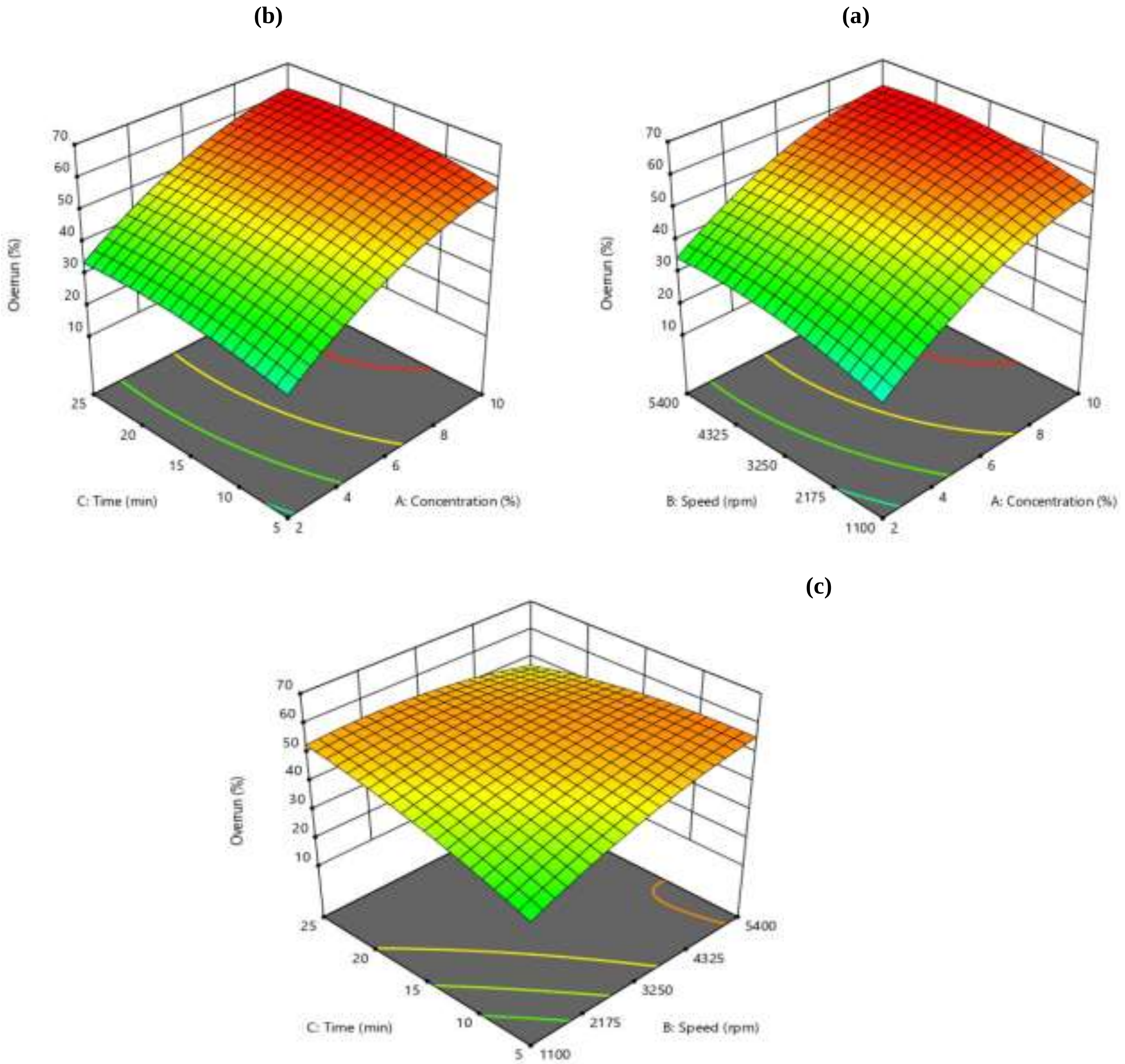
Table 4- Results of analysis of variance and model coefficients fitted to the quadratic regression equation for the overrun response variable

	Predicted coefficients ضرایب پیش‌بینی شده	sum of squares مجموع مربعات	Degree of freedom درجه آزادی	Mean squared میانگین مربعات	F-value	p-value	Std. Dev.	C.V. %
Model مدل		2937.92	9	326.44	58.59	0.0001>	2.36	5.06
Intercept عرض ازمبدا β_0	53.24							
Linear expression عبارت خطی								
Surfactant concentration (β_1X_1) غلظت سورفاکتانت (β_1X_1)	14.14	1999.74	1	1999.74	358.90	0.0001>		
Whipping speed (β_2X_2) سرعت همزدن (β_2X_2)	3.86	148.97	1	148.97	26.74	0.0013		
Whipping time (β_3X_3) زمان همزدن (β_3X_3)	2.59	66.94	1	66.94	12.01	0.0105		
Interaction متقابل								
Surfactant concentration × Whipping speed ($\beta_{12}X_1X_2$) غلظت سورفاکتانت × سرعت همزدن ($\beta_{12}X_1X_2$)	-0.62	3.10	1	3.10	0.5568	0.4798		
Surfactant concentration × Whipping time ($\beta_{13}X_1X_3$) غلظت سورفاکتانت × زمان همزدن ($\beta_{13}X_1X_3$)	-0.12	0.1342	1	0.1342	0.0241	0.8811		
Whipping speed × Whipping time ($\beta_{23}X_2X_3$) سرعت همزدن × زمان همزدن ($\beta_{23}X_2X_3$)	-6.74	363.50	1	363.50	65.24	0.0001>		
Quadratic expression عبارت درجه دوم								
Surfactant concentration^2 ($\beta_{11}X_1^2$) غلظت سورفاکتانت^۲ ($\beta_{11}X_1^2$)	-5.47	80.12	1	80.12	14.38	0.0068		
Whipping speed^2 ($\beta_{22}X_2^2$) سرعت همزدن^۲ ($\beta_{22}X_2^2$)	-3.23	28.00	1	28.00	5.03	0.0599		
Whipping time^2 ($\beta_{33}X_3^2$) زمان همزدن^۲ ($\beta_{33}X_3^2$)	-2.44	15.96	1	15.96	2.86	0.1344		
Residual error خطای باقی‌مانده		39.00	7	5.57				
Lack of fit عدم برازش		38.19	5	7.64	18.70	0.0515		
Net error خالص کل		0.8170	2	0.4085				
Sum جمع		2976.92	16					

جدول ۵- نتایج تجزیه و تحلیل واریانس و ضرایب مدل برازش شده به معادله رگرسیونی درجه دوم متغیر پاسخ حجم زهکشی

Table 5- Results of analysis of variance and model coefficients fitted to the quadratic regression equation for the drainage response variable

	Predicted coefficients	sum of squares	Degree of freedom	Mean squared	F-value	p-value	Std. Dev.	C.V. %
Model مدل		577.37	9	64.15	34.37	0.0001>	1.37	30.690
Intercept عرض از مبدا β_0	1.34							
Linear expression عبارت خطی								
Surfactant concentration (β_1X_1) غلظت سورفاکتانت (β_1X_1)	-5.90	348.10	1	348.10	186.51	0.0001>		
Whipping speed (β_2X_2) سرعت همزدن (β_2X_2)	-1.93	37.38	1	37.38	20.03	0.0029		
Whipping time (β_3X_3) زمان همزدن (β_3X_3)	1.67	27.78	1	27.78	14.88	0.0062		
Interaction متقابل								
Surfactant concentration ×Whipping speed ($\beta_{12}X_1X_2$) غلظت سورفاکتانت × سرعت همزدن ($\beta_{12}X_1X_2$)	2.58	53.39	1	53.39	28.61	0.0011		
Surfactant concentration ×Whipping time ($\beta_{13}X_1X_3$) غلظت سورفاکتانت × زمان همزدن ($\beta_{13}X_1X_3$)	-1.50	18.00	1	18.00	9.64	0.0172		
Whipping speed × Whipping time ($\beta_{23}X_2X_3$) سرعت همزدن × زمان همزدن ($\beta_{23}X_2X_3$)	0.08	0.05	1	0.05	0.02	0.8679		
Quadratic expression عبارت درجه دوم								
Surfactant concentration^2 ($\beta_{11}X_1^2$) غلظت سورفاکتانت۲ ($\beta_{11}X_1^2$)	3.98	42.52	1	42.52	22.78	0.0020		
Whipping speed^2 ($\beta_{22}X_2^2$) سرعت همزدن۲ ($\beta_{22}X_2^2$)	0.48	0.62	1	0.62	0.33	0.5805		
Whipping time^2 زمان همزدن۲ ($\beta_{33}X_3^2$) **($\beta_{33}X_3^2$)**	0.81	1.79	1	1.79	0.9580	0.3603		
Residual error خطای باقی‌مانده		13.06	7	1.78				
Lack of fit عدم برازش		12.55	5	2.51	9.68	0.0963		
Net error خالص کل		0.51	2	0.25				
Sum جمع		590.43	16					

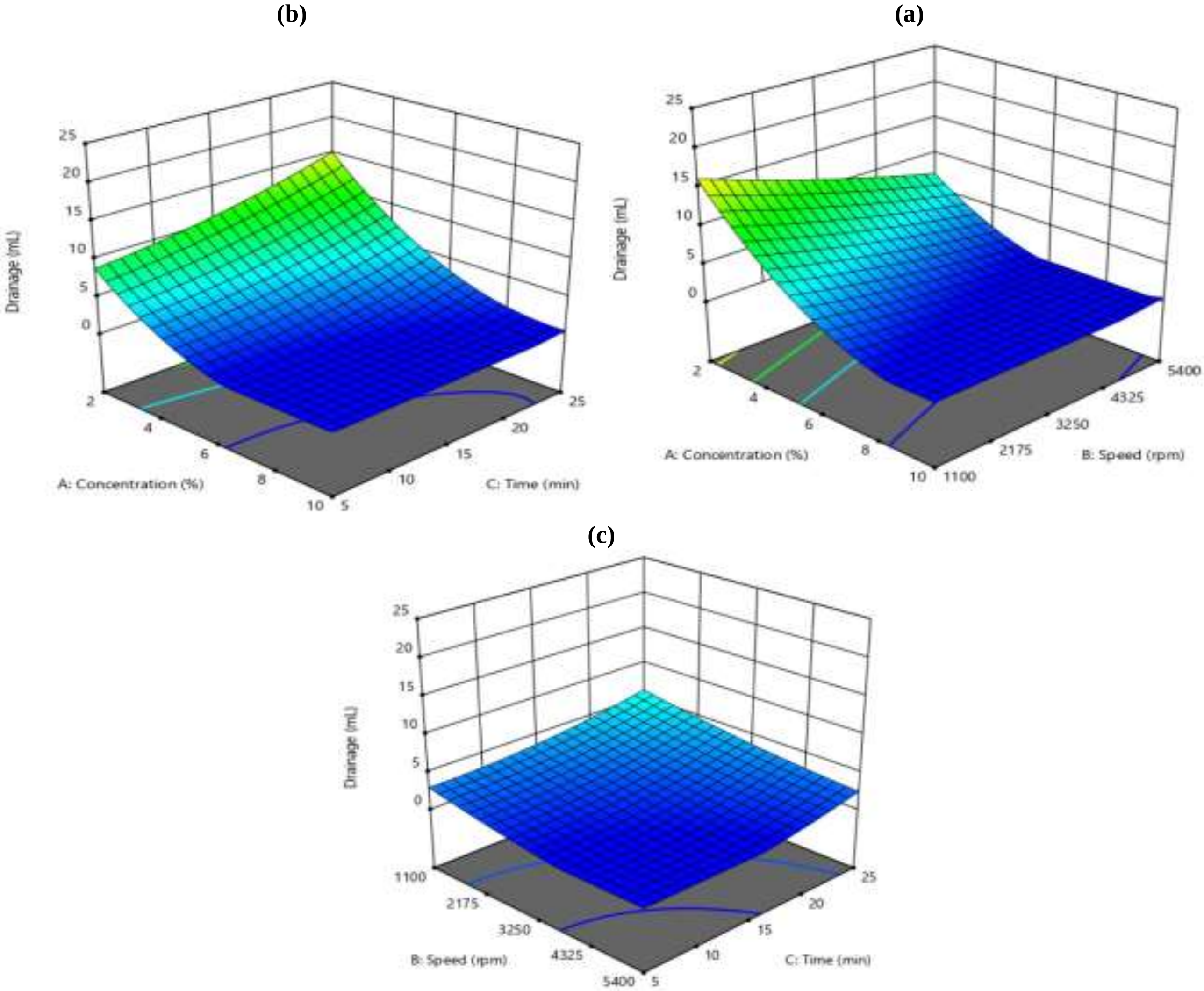


شکل ۲- اثرات متقابل غلظت سورفکتانت و سرعت هوادهی در زمان ۱۵ دقیقه (الف)، غلظت سورفکتانت و زمان هوادهی در سرعت ۳۲۵۰ دور بر دقیقه (ب) و سرعت و زمان هوادهی در غلظت سورفکتانت ٦ درصد (ج) بر افزایش حجم کف‌ها

Fig. 2. Interaction of surfactant concentration and whipping speed at 15 minutes (a), surfactant concentration and whipping time at 3250 rpm (b) and whipping speed and time at 6% surfactant concentration (c) on overrun

همان طور که نتایج مطالعه پیشین نیز نشان داد، حجم کف در ابتدا به‌طور قابل توجهی افزایش می‌یابد اما سپس ثابت باقی می‌ماند و همه مخلوط‌ها در ۲۰ دقیقه ابتدایی زمان هوادهی به حداکثر حجم خود می‌رسند (Saremnejad *et al.*, 2020). نتایج مشابهی برای هوادهی روغن آفتابگردان اولئیک بالا حاوی سورفکتانت میریستیک اسید گزارش شده است (Binks *et al.*, 2016). در مورد اثر متقابل سرعت و زمان هوادهی (شکل ۲-c) نیز همانطور که انتظار می‌رفت با افزایش سرعت هوادهی، زمان لازم برای رسیدن به حداکثر افزایش حجم کاهش یافت. بنابراین کف‌های تهیه شده از مخلوط‌های حاوی ۶ درصد وزنی سورفکتانت تحت سرعت هوادهی ۵۴۰۰ دور در دقیقه، تنها ظرف مدت ۵ دقیقه به حداکثر حجم خود (افزایش حجم حدود ۶۴ درصد) رسیدند. با این حال، همانطور که پیش از این نیز اشاره شد کف‌های تولید شده در سرعت‌های هوادهی بالا پایدار نخواهند بود. بنابراین انتخاب سرعت و زمانی که در آن علاوه بر بازده حداکثری تولید، کف‌ها پایداری مناسبی نیز داشته باشند، بسیار حائز اهمیت است. همان‌طور که در شکل ۳-a و ۳-b به وضوح مشخص است

میزان زهکشی کف‌ها با افزایش غلظت سورفکتانت کاهش می‌یابد. پایداری کف به‌طور قابل توجهی به غلظت سورفاکتانت بستگی دارد چرا که مولکول‌های آن سطح مشترک روغن و حباب‌های هوا را پوشانده ، به این ترتیب از فروپاشی کف جلوگیری می‌کنند (Shrestha *et al.*, 2006). علاوه بر این افزایش غلظت ذرات بلوری سورفکتانت می‌تواند منجر به تشکیل یک اولئوژل (مخلوط روغن و سورفکتانت) بسیار ویسکوالاستیک شود. در چنین مخلوطی مقادیر زیادی از فاز پیوسته روغنی بی‌حرکت می‌شود و در نتیجه پایداری کف افزایش می‌یابد (Fameau and Saint-Jalmes, 2017).



شکل ۳- اثرات متقابل غلظت سورفکتانت و سرعت هوادهی در زمان ۱۵ دقیقه (الف)، غلظت سورفکتانت و زمان هوادهی در سرعت ۳۲۵۰ دور بر دقیقه (ب) و سرعت و زمان هوادهی در غلظت سورفکتانت ٦ درصد (ج) بر حجم زهکشی کف‌ها

Fig. 3. Interaction of surfactant concentration and whipping speed at 15 minutes (a), surfactant concentration and whipping time at 3250 rpm (b) and whipping speed and time at 6% surfactant concentration (c) on drainage.

به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت کف‌های تهیه شده از مخلوط-های روغنی حاوی بالای ۸ درصد وزنی سورفکتانت تحت سرعت‌های هوادهی ۳۵۰۰-۳۰۰۰ دور در دقیقه و بازه زمانی۲۰-۱۵ دقیقه، حداقل مقدار میزان حجم زهکشی را داشتند و از این لحاظ پایدارتر بودند. در مورد اثر متقابل سرعت و زمان هوادهی (شکل ۳-c) نیز کف‌های تهیه شده در سرعت‌های پایین ناپایدار بودند. با افزایش سرعت هوادهی میزان حجم زهکشی کف‌ها نیز کاهش یافت. اما باید توجه داشت که این روند در زمان‌های کوتاه‌تری از فرآیند هوادهی صادق بود و کف‌هایی که به مدت طولانی‌تری در معرض سرعت‌های بالای هوادهی قرار گرفتند، ناپایدار بودند

بهینه‌سازی و اعتبارسنجی مدل

پس از به‌دست آمدن مدل‌های چندجمله‌ای مرتبه دوم برای هر کدام از پاسخ‌ها، به‌منظور بهینه‌سازی هم زمان متغیرهای پاسخ از

روش سطح پاسخ و تابع مطلوبیت استفاده شد. کم‌ترین و بیش‌ترین مقادیر مد نظر و همچنین ضریب اهمیت آن‌ها برای متغیرهای پاسخ مورد بررسی در جدول ۶ ارائه شده است. درجه مطلوبیت هر پاسخ می‌تواند رابطه حائز اهمیتی با پاسخ‌های دیگر داشته باشد. درجه این اهمیت با علامت «+» تعیین شده و از حداقل مقدار یک (+) تا حداکثر مقدار پنج (+++++) تغییر می‌کند (Lee *et al.*, 2018). ضرایب اهمیت در این مطالعه به نحوی انتخاب شدند تا شرایطی را که مقادیر پاسخ در آن مطلوب‌ترین است، ارائه کنند. طبق مقادیر پیش‌بینی شده در بهینه‌سازی مدل هوادهی مخلوط حاوی حدود ۱۰ درصد سورفکتانت تحت سرعت حدود ۳۴۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه، با شاخص مطلوبیت یک شرایط بهینه برای دستیابی به حداکثر بازده تولید کف روغنی و پایداری آن می‌باشد. برای تایید اعتبار مقادیر پیش‌بینی شده در بهینه‌سازی مدل، میزان افزایش حجم و حجم زهکشی در شرایط بهینه پیش‌بینی شده با سه تکرار به‌دست آمد (جدول ۷). نزدیک بودن میزان مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده نشان از صحت مدل‌ها داشت.

به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که کف تهیه شده از مخلوط حاوی حدود ۱۰ وزنی سورفکتانت تحت شرایط سرعت هوادهی حدود ۳۴۰۰ دور در دقیقه به مدت تقریبی ۱۵ دقیقه افزایش حجم بالای ۶۰ درصد به لحاظ قابلیت تولید کف و پایداری قابل قبول می‌باشد. بنابراین کف آماده شده تحت این شرایط به‌عنوان کف بهینه برای تولید سس کم‌چرب هوادهی شده انتخاب گردید.

جدول ٦- محدوده متغیرها و ضریب اهمیت پاسخ‌ها جهت بهینه سازی فرآیند تهیه کف به روش سطح پاسخ

Table 6- Range of variables and significance coefficient of responses to optimize the foam preparation process by response surface methodology

Variables متغیرها		Minimum کمترین	Maximum بیشترین	Coefficient of importance ضریب اهمیت
Independent متغیرهای مستقل				
Surfactant concentration (%) غلظت سورفاکتانت (درصد)	**In range**	2	10	-
Whipping speed (rpm) سرعت همزدن (دور بر دقیقه)	**In range**	1100	5400	-
Whipping time (min) زمان همزدن (دقیقه)	**In range**	5	15	-
Dependent				
Overrun (%) افزایش حجم (درصد)	**Maximum**	11.58	61.78	++++
Drainage (mL) حجم زهکشی (میلی‌لیتر)	**Minimum**	0.00	21.00	+++

جدول ۷- مقادیر پیش‌بینی شده متغیرهای وابسته و مستقل به روش سطح پاسخ

Table 7- Predicted values of dependent and independent variables by response surface methodology

Independent variables متغیرهای مستقل			Dependent variables (Responses)** متغیرهای وابسته (پاسخ) Predicted مقادیر پیش‌بینی (برازش) شده		Measured مقادیر مشاهده شده		Residues باقی‌مانده‌ها	
X_1	X_2	X_3	Y_1	Y_2	Y_1	Y_2	Y_1	Y_2
14.09	3466.35	9.80	62.01 ± 2.36	0.00 ± 1.36	60.78 ± 0.85	0.23 ± 0.57	-1.23	0.33

ارزیابی ویژگی‌های سس

اسیدیته و pH

اسیدیته و pH از پارامترهای شیمیایی مهم در تهیه سس‌ها می‌باشند. طبق استاندارد ملی ایران شماره ۲۴۵۴، pH سس نباید بیش از ۴/۱ و اسیدیته آن نیز نباید کمتر از ۰/۶ (برحسب گرم در صد اسید استیک) باشد. سس با اسیدیته بیش از ۱/۵ طعم نامطلوبی خواهد داشت و از طرفی اسیدیته کمتر از ۰/۶ زمینه را برای رشد میکروارگانیسم‌ها فراهم می‌سازد. جدول ۸ مقادیر pH و اسیدیته نمونه‌ها را نشان می‌دهد. به دلیل تفاوت تاریخ تولید محصولات تجاری و نیز فاصله زمانی موجود از تولید تا خرید آن‌ها امکان بررسی تغییر pH در طول بازه زمانی میسر نبود، بنابراین فقط نمونه‌های هوادهی شده از نظر تغییرات اسیدیته و pH در بازه زمانی نگهداری مورد مطالعه قرار گرفتند.

همان‌طور که در جدول ۸ مشاهده می‌شود مقادیر pH تمام نمونه‌ها در محدوده استاندارد یعنی کمتر از ۴/۱ قرار داشتند. بالاترین میزان pH اندازه‌گیری شده (حدود ۴/۰۱) مربوط به سس تجاری پرچرب بود که با سایر نمونه‌ها اختلاف معنی داری داشت (p < ۰/۰۰۰۱). در ترکیبات این نمونه به نگهدارنده‌های بنزوات سدیم و سوربات

پتاسیم (در مجموع ۷۰۰ ppm) اشاره شده بود که احتمالاً به‌منظور جبران اثرات pH بالا و افزایش ماندگاری آن به‌کار رفته‌اند. کم‌ترین میزان pH (حدود ۳/۶۸) نیز به سس تجاری بدون چربی اختصاص داشت. هرچند اختلاف معنی‌داری بین pH این نمونه با بقیه سس‌ها مشاهده نشد (*p* >۰/۰۵)، اما وجود اسید سیتریک و اسید لاکتیک ممکن است علت پایین‌تر بودن pH این محصول باشد. در مورد سس‌های هوادهی شده کم‌چرب نیز اختلافی بین pH نمونه‌های شاهد و حاوی لینولئیک اسید مشاهده نشد (*p* >۰/۰۵). با افزایش طول مدت نگهداری pH سس‌های هوادهی شده کم‌چرب کمی کاهش یافت. اگرچه این تغییر معنی‌دار نبود (*p* >۰/۰۵)، اما کاهش pH در طول زمان نگهداری، ممکن است مربوط به شکسته شدن برخی از گروه‌های استری و تبدیل آن‌ها به گروه‌های اسیدی باشد (Hosseinvand and Sohrabvandi, 2016).

جدول ۸- مقادیر pH و اسیدیته

Table 3. PH and acidity of the samples (mean ± standard deviation values are reported in each column).

Sauce	pH				Acidity			
	Storage (month)				Storage (month)			
	0	1	2	3	0	1	2	3
Aerated Control شاهد	3.775±0.021	3.76± 0.014	3.755±0.007	3.74± 0.028	1.21±0.042	1.27± 0.056	1.30±0.014	1.33±0.084
Containing linoleic acid حاوی لینولئیک اسید	3.780±0.056	3.765± 0.035	3.725±0.049	3.710± 0.042	1.17±0.070	1.20± 0.113	1.26±0.042	1.35±0.098
Commercial Free-fat تجاری بدون چربی	3.685±0.049	-	-	-	1.37±0.084	-	-	-
Low-fat کم چرب	3.715±0.063	-	-	-	1.34±0.063	-	-	-
Full-fat پرچرب	4.010+0.056				0.92+0.056			

اسیدیته همه نمونه‌ها نیز در محدوده استاندارد یعنی بین ۰/۶ تا ۱/۵ بود و مقادیر مربوط به نمونه‌های مختلف تفاوت معنی داری با یک‌دیگر نشان ندادند (*p* >۰/۰۵). بیش‌ترین میزان اسیدیته (حدود ۱/۳۷) به سس تجاری بدون چربی اختصاص داشت که با توجه به تقابل اسیدیته و pH، امری طبیعی به نظر می‌رسد. همچنین با گذشت زمان و کاهش pH سس‌های هوادهی شده کم‌چرب، مقدار اسیدیته آن‌ها نیز افزایش یافت. اسیدی شدن می‌تواند نقش مهمی در ادراک سایر ویژگی‌های حسی سس‌ها داشته باشد. علاوه بر این با توجه به اسیدیته بالا، می‌توان این سس‌ها را به‌عنوان یک محصول با ثبات میکروبی مناسب در نظر گرفت (Alu'datt *et al.*, 2016).

پایداری اکسیداتیو

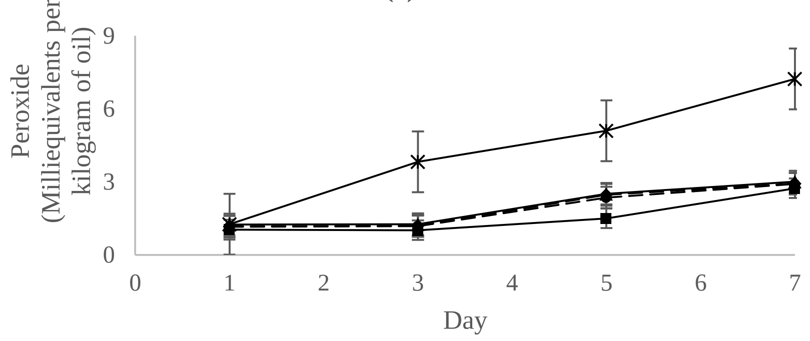
اگرچه به دلیل بالا بودن اسیدیته، سس‌ها اغلب محصولات پایداری به حساب می‌آیند اما با این حال ممکن است با چالش کاهش کیفیت به‌دلیل اکسیداسیون چربی مواجه شوند. اکسیداسیون چربی‌ها فرآیند مضری است که باعث از بین رفتن مواد مغذی و ایجاد طعم و رنگ نامطلوب می‌شود. سس‌ها به عنوان فرآورده‌های غذایی امولسیونی حاوی چربی بالا (اغلب حدود ۸۰ درصد)، به تخریب اکسیداتیو بسیار حساس هستند (Featherstone, 2014).

پراکسیدها محصولات اصلی اکسیداسیون چربی‌ها بوده و جزء اولین ترکیباتی هستند که به محض شروع این فرآیند تشکیل می‌شوند (Dos Passos *et al.*, 2019). طبق شکل ۴-a مقدار پراکسید در تمام نمونه‌ها، از ابتدای دوره نگهداری تا پایان آن افزایش یافت که البته این میزان افزایش در محدوده استاندارد یعنی کم‌تر از ۱۰ بود (استاندارد ملی شماره ۲۴۵۴). در روز اول تنها اختلاف بین عدد پراکسید سس تجاری بدون چربی با بقیه نمونه‌ها معنی‌دار بود (*p* <۰/۰۵). در روز سوم عدد پراکسید سس تجاری پر چرب نسبت به سایر نمونه‌ها به طور قابل توجهی افزایش یافت (*p* <۰/۰۰۱). اختلاف عدد پراکسید سس تجاری بدون چربی نیز همچنان معنی‌دار بود (*p* <۰/۰۵). مانند روز اول در روز سوم نیز اختلافی بین اعداد پراکسید نمونه‌های هوادهی شده شاهد و حاوی محرک و تجاری کم چرب مشاهده نشد(*p* >۰/۰۵).

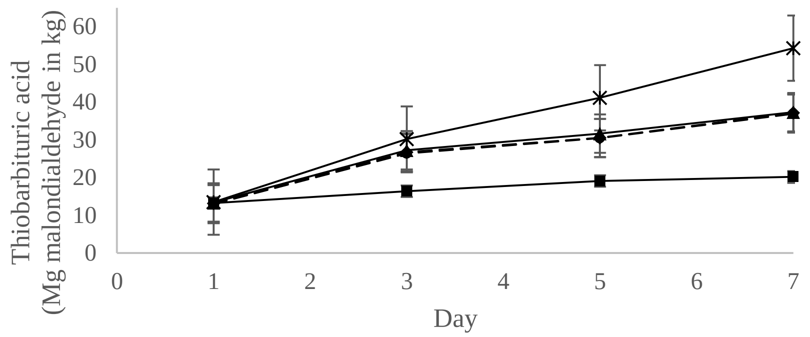
در روز پنجم افزایش عدد پراکسید نمونه پرچرب همچنان ادامه یافت. علاوه بر این عدد پراکسید سس تجاری بدون چربی یا سایر نمونه‌ها اختلاف قابل توجهی پیدا کرد (*p* <۰/۰۰۱). اعداد پراکسید نمونه‌های هوادهی شده (شاهد و حاوی محرک) و تجاری کم‌چرب با یک‌دیگر اختلافی نداشتند (*p* >۰/۰۵). همین روند تا روز هفتم ادامه یافت و طی هفت روز متوالی، افزایش مقادیر پراکسید نمونه تجاری پر

چرب به‌دلیل وجود مقادیر بالای چربی در مقایسه با سایر نمونه‌ها با شیب تندتری ادامه یافت. به طوری که در روز هفتم، مقدار پراکسید نمونه پر چرب بیش از ۵ برابر روز اول بود، در حالی که این نسبت برای نمونه‌های هوادهی شده حدود ۲/۵ برابر بود. پایین‌ترین مقدار پراکسید در روز هفتم مربوط به نمونه تجاری بدون چربی (۲/۷۴ میلی‌اکی والان در کیلوگرم روغن) بود.

(a)



(b)



شکل ٤- مقدار پراکسید (الف) و تیوباربیتوریک اسید (ب) نمونه‌های هوادهی شده (خطوط نقطه چین) شاهد (•) و حاوی لینولئیک (◆) و تجاری (خطوط پر) بدون چربی (■)، کم چرب (▲) و پر چرب (✱) در طول مدت ۷ روز

Fig. 4. The amount of peroxide (a) and thiobarbituric acid (b) in aerated sauces (dotted lines) control (•) and containing linoleic acid (◆) and commercial (full lines) free-fat (■), low-fat (▲) and full-fat (✱) for 7 days.

روند تشکیل هیدروپراکسیدها در نمونه‌های هوادهی شده و سس تجاری کم‌چرب نیز کندتر از نمونه تجاری پرچرب بود. این مشاهدات با توجه به درصد چربی نمونه‌ها که در جدول ۲ نیز به آن اشاره شده، همخوانی دارد. علاوه بر این، عدم مشاهده اختلاف معنی‌دار بین مقادیر پراکسید سس‌های هوادهی شده شاهد و حاوی لینولئیک اسید در طول مدت هفت روز (p >۰/۰۵)، نشان داد که افزودن اسید چرب آزاد اشباع نشده‌ای مانند لینولئیک اسید (C 18:2) در غلظت‌های بسیار پایین در حد ۳/۰۰ میلی‌مولار تاثیری بر روند اکسیداسیون نداشته است.

مالون دی آلدهیدها بر خلاف پراکسیدها از محصولات ثانویه اکسیداسیون هستند که در طول اکسیداسیون چربی‌ها تشکیل و توسط روش واکنش با تیوباربیتوریک اسید اندازه گیری می‌شوند. همان‌طور که در شکل ۴-b مشاهده می‌شود، در روز اول اختلاف معنی‌داری بین شاخص تیوباربیتوریک اسید نمونه‌ها مشاهده نشد (p >۰/۰۵). اما از روز سوم مقدار مالون دی آلدهید سس‌های تجاری کم‌چرب و پرچرب نسبت به سایر نمونه‌ها به‌طور قابل توجهی افزایش یافت (p <۰/۰۰۱)، با این حال باز هم اختلافی بین شاخص تیوباربیتوریک اسید نمونه‌های هوادهی شده (شاهد و حاوی لینولئیک اسید) و تجاری بدون چربی مشاهده نشد (p >۰/۰۵). به‌طور کلی بین نمونه‌های هوادهی شده و تجاری حاوی چربی به لحاظ اکسیداسیون تفاوت معنی‌داری وجود داشت (p <۰/۰۰۱). مقادیر پایین‌تر شاخص تیوباربیتوریک اسید در نمونه‌های هوادهی شده نشان‌دهنده مقاومت این سس‌ها در برابر اکسیداسیون است. مقادیر مالون دی آلدهید این نمونه‌ها پس از گذشت هفت روز در حدود ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. این در حالی است که در روز هفتم افزایش بسیار زیادی در مقدار مالون دی آلدهید (۵۴ میلی‌گرم در کیلوگرم) نمونه تجاری پرچرب مشاهده شد. بر اساس این مشاهدات، می‌توان نتیجه گرفت که سس‌های هوادهی شده دارای محصولات حاصل از اکسیداسیون کم‌تری بودند. این پدیده احتمالاً به علت پوشیده شدن حباب‌های هوا توسط بلورهای سورفکتانت جذب شده در سطح مشترک روغن و هوا باشد

که از تماس مستقیم هوا با روغن که ممکن است روند اکسیداسیون را تسریع کند ممانعت به عمل می‌آورد. در تصاویر میکروسکوپ نوری کف‌ها مطالعه پیشین نیز بلورهای سورفکتانت جذب شده در سطح مشترک روغن و هوا به وضوح قابل مشاهده بودند (Saremnejad *et al*., 2020).

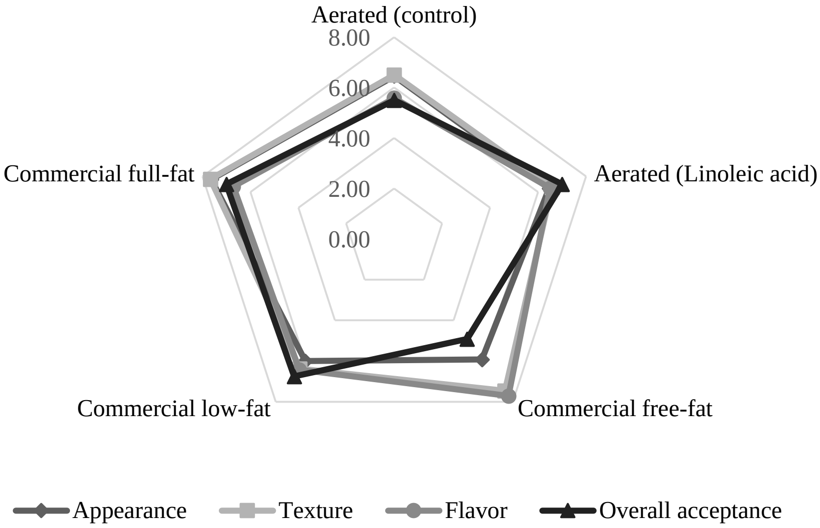
ارزیابی حسی

روش جایگزینی قطره‌های چربی با حباب‌های هوا و تولید امولسیون‌های چندگانه هوا در روغن در آب می‌تواند از اهمیت قابل توجهی جهت کاربرد بالقوه آن‌ها در تهیه سس‌های کم چرب برخوردار باشد. با این وجود ارزیابی ویژگی‌های حسی آن‌ها حائز اهمیت می-باشد. لذا در ادامه این مطالعه تاثیر فرآیند هوادهی و همچنین افزودن محرک مزه چربی بر ویژگی‌های حسی سس‌ها بررسی شده، با نمونه-های تجاری بدون چربی، کم‌چرب و پرچرب مقایسه گردید. تعریف ویژگی‌های حسی مورد ارزیابی شامل ظاهر (شامل رنگ)، طعم (شامل مزه و بو)، بافت (مقاومت مکانیکی روی قاشق، دهان، در اولین تماس با دندان و روی کام) و به‌طور کلی پذیرش آن‌ها برای گروه ارزیاب حسی مطابق با مطالعات پیشین صورت گرفت (Laca *et al*., 2010).

همانطور که در شکل ۵ مشخص است، ظاهر نمونه‌های هوادهی شده (شاهد و حاوی لینولئیک اسید)، تجاری بدون چربی و کم‌چرب اختلاف معنی‌داری نداشتند (p >۰/۰۵). کم‌ترین امتیاز ظاهر به سس بدون چربی اختصاص داشت که عمدتا به دلیل حضور عوامل قوام‌دهنده (نشاسته اصلاح شده، گوار و زانتان) در فرمولاسیون آن می‌باشد. این مشاهده با یافته‌های مطالعات پیشین که در آن‌ها کاهش امتیاز ظاهر به دلیل رنگ سفید مقلدهای چربی گزارش شده، مطابقت دارد (Liu *et al*., 2007Karas *et al*., 2002 ;). کاهش چربی و جبران کاهش آن با مقلدهای چربی هر دو ممکن است منجر به افت ویژگی‌های ظاهری محصول شوند. در همین راستا تحقیقات نشان داده‌اند که کاهش اندازه ذرات در محصولات مبتنی بر امولسیون مانند سس‌ها، به دلیل افزایش پراکندگی نور می‌توانند ویژگی‌های ظاهری را بهبود ببخشند (Thaiudom and Khantarat, 2012). بر اساس نتایج پژوهش پیشین، کف‌های روغنی تهیه شده به‌منظور تولید سس هوادهی شده، ذرات کوچک‌تر با اندازه‌های زیر ۲۰ میکرومتر را به نمایش گذاشتند (Saremnejad *et al*., 2020). این مشاهدات حاکی از آن است اگرچه نمونه‌های هوادهی شده حاوی چربی کم‌تری بودند، اما به دلیل اندازه حباب‌های کوچک‌تر، توانستند امتیاز ظاهری بالاتری را نسبت به سس‌های بدون چربی و کم‌چرب کسب کنند. بیش‌ترین امتیاز رنگ متعلق به سس تجاری پرچرب بود که اختلاف معنی‌داری با سایر نمونه‌ها داشت (p <۰/۰۰۱). پیش از این نیز مشخص شده که سس‌های حاوی مقادیر زیاد چربی از نظر ظاهر کلی (به‌عنوان مثال، رنگ، کدورت، براقیت و همگن بودن) بهتر از نمونه‌های کم‌چرب یا بدون چربی هستند (Guardeño *et al*., Chung *et al*., 2016 ; 2012). بالاترین امتیاز ویژگی‌های بافتی متعلق به سس‌های تجاری بدون چربی و پرچرب بود که اختلاف معنی‌داری با سایر نمونه‌ها داشتند (p <۰/۰۵). بدیهی است که مقاومت، استحکام و قوام نمونه بدون چربی که در فرمولاسیون آن از پایدارکننده‌هایی مانند نشاسته اصلاح شده، گوار و زانتان استفاده شده، با سس پرچرب برابری می-کند. اختلاف ویژگی‌های بافتی نمونه‌های هوادهی شده (شاهد و حاوی لینولئیک اسید) و کم‌چرب با یک‌دیگر معنی دار نبود (۰/۰۵< p) و سس‌های هوادهی شده به لحاظ بافت سبک‌تر مشابه با سس تجاری کم‌چرب بودند. در واقع یکی دیگر از مزیت‌های جایگزینی حباب‌های هوا دستیابی به محصولی با ویژگی‌های بافتی تقریباً مشابه با محصولات تجاری کم‌چرب، بدون نیاز به استفاده از پایدارکننده‌ها و قوام‌دهنده‌ها می‌باشد. در این روش از طریق دستکاری ریزساختار و جایگزینی مقدار قابل توجهی از ذرات چربی با هوا، شکل‌گیری فاز گازی در فاز پیوسته به شکل حباب‌های ریز منجر به سبک‌تر شدن بافت و در نتیجه احساس دهانی مطلوبی می‌شود (Labbafi *et al*., 2007).

امتیاز طعم نمونه هوادهی شده شاهد با نمونه حاوی محرک مزه چربی اختلاف معنی‌داری داشت (p <۰/۰۵). این مشاهده حاکی از آن است که افزودن مقدار اندکی (۳/۰۰ میلی‌مولار) از لینولئیک اسید به سس هوادهی شده برای گروه ارزیاب حسی به‌عنوان مزه چربی قابل تشخیص بوده است. این مشاهده همسو با یافته‌های اخیر محققان است که در آن چربی را به‌عنوان یک ویژگی حسی و مزه اصلی توصیف و واژه جدید اولئوگستوس را برای آن پیشنهاد کرده‌اند (Running and Mattes, 2016Running *et al*., 2015 ;). علاوه بر این اختلاف امتیاز طعم نمونه هوادهی شده حاوی محرک با سس-های تجاری کم‌چرب و پرچرب معنی‌دار نبود (p >۰/۰۵). به این ترتیب نمونه حاوی محرک مزه چربی پروفایل حسی طعمی مشابه با نمونه‌های کم‌چرب و پرچرب را ارائه نمود که اثباتی بر فرضیه جبران افت ادراک حسی ناشی از کاهش چربی از طریق روش برهمکنش متقابل با افزودن محرک مزه چربی می‌باشد. تاکنون اثر متقابل بین شیرینی، شوری، ترشی، تلخی و امامی در سیستم‌های مدل مورد بررسی قرار گرفته است. به‌عنوان مثال، از این روش برای به حداقل رساندن تاثیرات کاهش قند در دسر لبنی (Velázquez *et al*., 2020) و نمک و چربی در پنیر (Syarifuddin *et al*., 2016) بر ویژگی‌های حسی استفاده شده است. این در حالی است که با توجه به اهمیت برهمکنش‌های متقابل بین ادراک مزه چربی با سایر ویژگی-های حسی برای تولید فرآورده‌های غذایی جدید (به ویژه، ترکیبات جایگزین چربی در توسعه محصولات کم‌چرب) این موضوع نیاز به مطالعات بیشتری دارد. بین امتیاز طعم سس‌های کم‌چرب و پرچرب اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (p >۰/۰۵). امتیاز طعم نمونه تجاری بدون چربی به‌طور قابل توجهی پایین‌تر از بقیه نمونه‌ها بود (۰/۰۰۱> p) که احتمالا به دلیل طعم ترش شدیدی است که توسط گروه ارزیاب حس شد. همانطور که پیش از این بیان شد این نمونه به دلیل وجود هم زمان دو اسید آلی (سیتریک و لاکتیک) در ترکیب خود اسیدیته بالایی داشت. احتمالاً به همین دلیل نیز پذیرش کلی این نمونه پایین‌ترین امتیاز را به‌خود اختصاص داد به‌طوری که اختلاف معنی‌داری با سایر نمونه‌ها داشت (p <۰/۰۰۱). پذیرش کلی سس هوادهی شده شاهد با سس حاوی لینولئیک اسید اختلاف قابل

توجهی داشت ($p < ۰/۰۰۱$). اختلاف پذیرش کلی نمونه هوادهی شده حاوی لینولئیک اسید با سس‌های تجاری کم‌چرب و پرچرب نیز معنی‌دار نبود ($p > ۰/۰۵$). طبق این نتایج رویکردهای جایگزینی حباب‌های هوا و نیز افزودن محرک مزه چربی در چارچوب برنامه‌های کاهش چربی، می‌تواند با موفقیت برای تولید سس‌های هوادهی شده با امتیازات حسی نسبتا مشابه با انواع تجاری، مورد استفاده قرار بگیرد.



شکل ۵- ارزیابی حسی نمونه‌های مختلف

Fig. 5. Sensory evaluation of different samples

نتیجه‌گیری

در این مطالعه به کمک جایگزینی حباب‌های هوا با قطره‌های چربی، یک فرآورده غذایی مبتنی بر امولسیون روغن در آب (سس) با چربی کاهش یافته تولید گردید. شرایط بهینه فرآیند هوادهی به کمک طراحی آزمایشات به روش سطح پاسخ تعیین شد. بر این اساس هوادهی روغن حاوی حدود ۱۰ درصد سورفکتانت تحت سرعت ۳۴۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه، مطلوب‌ترین شرایط برای تهیه کف‌های روغنی بود. کف‌های تهیه شده تحت این شرایط به‌عنوان امولسیون پایه جهت تولید سس هوادهی شده کم‌چرب مورد استفاده قرار گرفتند. دو نوع سس بر اساس غلظت لینولئیک اسید، یعنی صفر به‌عنوان شاهد و ۳ میلی‌مولار به‌عنوان نمونه حاوی محرک مزه چربی تهیه شد. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی نمونه‌های آماده شده با سس‌های تجاری مورد مقایسه قرار گرفتند. اسیدیته و pH سس‌ها نیز در محدوده استاندارد و به‌ترتیب کم‌تر از ۰/۶ (برحسب گرم در صد اسید استیک) و ۴/۱ بودند. پایداری اکسیداتیو محصولات نیز در طول زمان نگهداری قابل قبول بود. به‌طور کلی سس هوادهی شده حاوی لینولئیک اسید، دارای امتیازات حسی کلی نسبتاً مشابه با سس تجاری پرچرب بود که نشان از پذیرش کلی آن داشت. تحقیقات بیشتر در زمینه ادراک مزه چربی می‌تواند پیامدهای مفیدی برای تولید فرآورده-های غذایی جدید (به‌ویژه ترکیبات جایگزین چربی در توسعه محصولات کم‌چرب)، مطالعات بالینی (مثل مدیریت اشتها، هضم غذا، اختلالات چشایی) و سیاست‌های بهداشت عمومی (از جمله، توصیه-های رژیم غذایی برای تعدیل چربی در مصرف مواد غذایی) در بر داشته باشد. بدین ترتیب استفاده از کف‌های روغنی خوراکی در محصولات غذایی کم‌چرب مبتنی بر امولسیون‌ها مانند انواع سس‌ها به‌طور عملی امکان‌پذیر خواهد بود.

منابع

1. Aganovic, K., Bindrich, U., & Heinz, V. (2018). Ultra-high pressure homogenisation process for production of reduced fat mayonnaise with similar rheological characteristics as its full fat counterpart. *Innovative food science & emerging technologies*, *45*, 208-214. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.10.013
2. Alu'datt, M. H., Rababah, T., Gammoh, S., Ereifej, K., Al-Mahasneh, M., Kubow, S., & Tawalbeh, D. (2016). Emulsified protein filaments: types, preparation, nutritional, functional, and biological properties of mayonnaise. In *Emulsions* (pp. 557-572). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804306-6.00016-7
3. AOCS Official Method Cd 8b-90, 2017. Sampling and analysis of commercial fats and oils.
4. Arancibia, C., Costell, E., & Bayarri, S. (2011). Fat replacers in low-fat carboxymethyl cellulose dairy beverages: Color, rheology, and consumer perception. *Journal of dairy science*, *94*(5), 2245-2258. https://doi.org/10.3168/jds.2010-3989

5. Bazmi, A., Duquenoy, A., & Relkin, P. (2007). Aeration of low fat dairy emulsions: Effects of saturated–unsaturated triglycerides. *International dairy journal*, *17*(9), 1021-1027. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2006.12.011
6. Bimal, C., & Guonong, Z. (2006). Olestra: A solution to food fat?. *Food Reviews International*, *22*(3), 245-258. https://doi.org/10.1080/87559120600694705
7. Binks, B. P., Garvey, E. J., & Vieira, J. (2016). Whipped oil stabilised by surfactant crystals. *Chemical science*, *7*(4), 2621-2632. DOI: 10.1039/C6SC00046K
8. Binks, B. P., & Marinopoulos, I. (2017). Ultra-stable self-foaming oils. *Food Research International*, *95*, 28-37. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.02.020
9. Binks, B. P., Rocher, A., & Kirkland, M. (2011). Oil foams stabilised solely by particles. *Soft Matter*, *7*(5), 1800-1808. https://doi.org/10.1039/C0SM01129K
10. Brun, M., Delample, M., Harte, E., Lecomte, S., & Leal-Calderon, F. (2015). Stabilization of air bubbles in oil by surfactant crystals: A route to produce air-in-oil foams and air-in-oil-in-water emulsions. *Food Research International*, *67*, 366-375. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.11.044
11. Campbell, G. M., & Mougeot, E. (1999). Creation and characterisation of aerated food products. *Trends in food science & technology*, *10*(9), 283-296. https://doi.org/10.1016/S0924-2244(00)00008-X
12. Chale-Rush, A., Burgess, J. R., & Mattes, R. D. (2007). Evidence for human orosensory (taste?) sensitivity to free fatty acids. *Chemical senses*, *32*(5), 423-431. https://doi.org/10.1093/chemse/bjm007
13. Chen, X. W., Yang, D. X., Zou, Y., & Yang, X. Q. (2017). Stabilization and functionalization of aqueous foams by Quillaja saponin-coated nanodroplets. *Food Research International*, *99*, 679-687. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.06.045v
14. Chung, C., Degner, B., Decker, E. A., & McClements, D. J. (2013). Oil-filled hydrogel particles for reduced-fat food applications: Fabrication, characterization, and properties. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *20*, 324-334. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.08.006
15. Chung, C., Smith, G., Degner, B., & McClements, D. J. (2016). Reduced fat food emulsions: physicochemical, sensory, and biological aspects. *Critical reviews in food science and nutrition*, *56*(4), 650-685. https://doi.org/10.1080/10408398.2013.792236
16. Ciron, C. I. E., Gee, V. L., Kelly, A. L., & Auty, M. A. (2011). Effect of microfluidization of heat-treated milk on rheology and sensory properties of reduced fat yoghurt. *Food Hydrocolloids*, *25*(6), 1470-1476. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.02.012
17. Dickinson, E. (2012). Emulsion gels: The structuring of soft solids with protein-stabilized oil droplets. *Food hydrocolloids*, *28*(1), 224-241. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.12.017
18. Passos, R. B. D., Bazzo, G. C., Almeida, A. D. R., Noronha, C. M., & Barreto, P. L. M. (2019). Evaluation of oxidative stability of mayonnaise containing poly Îµ-caprolactone nanoparticles loaded with thyme essential oil. *Braz. J. Pharm. Sci.(Online)*, 18177-18177.
19. Drenckhan, W., & Saint-Jalmes, A. (2015). The science of foaming. *Advances in Colloid and Interface Science*, *222*, 228-259. https://doi.org/10.1016/j.cis.2015.04.001
20. El-Yassimi, A., Hichami, A., Besnard, P., & Khan, N. A. (2008). Linoleic acid induces calcium signaling, Src kinase phosphorylation, and neurotransmitter release in mouse CD36-positive gustatory cells. *Journal of biological chemistry*, *283*(19), 12949-12959. DOI:https://doi.org/10.1074/jbc.M707478200
21. Emadzadeh, B., Razavi, S. M. A., Rezvani, E., & Schleining, G. (2015). Steady shear rheological behavior and thixotropy of low-calorie pistachio butter. *International Journal of Food Properties*, *18*(1), 137-148. https://doi.org/10.1080/10942912.2013.822882
22. Fameau, A. L., Lam, S., Arnould, A., Gaillard, C., Velev, O. D., & Saint-Jalmes, A. (2015). Smart nonaqueous foams from lipid-based oleogel. *Langmuir*, *31*(50), 13501-13510. https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.5b03660
23. Fameau, A. L., & Saint-Jalmes, A. (2017). Non-aqueous foams: Current understanding on the formation and stability mechanisms. *Advances in colloid and interface science*, *247*, 454-464. https://doi.org/10.1016/j.cis.2017.02.007
24. Harvey, J. L. (1959). Title 21—Food and drugs chapter I—Food and drug administration, department of health, education, and welfare subchapter B—Food and food products part 121—Food additives definitions and procedural and interpretative regulations. *Food, Drug, Cosmetic Law Journal*, *14*(4), 269-290.
25. Featherstone, S., 2014. A Complete Course in Canning and Related Processes: Fourteenth Edition, A Complete Course in Canning and Related Processes: Fourteenth Edition. Elsevier Inc. https://doi.org/10.1016/C2013-0-16339-8
26. Garrec, D. A., Frasch-Melnik, S., Henry, J. V., Spyropoulos, F., & Norton, I. T. (2012). Designing colloidal structures for micro and macro nutrient content and release in foods. *Faraday Discussions*, *158*(1), 37-49. https://doi.org/10.1039/C2FD20024D
27. Garrec, D. A., & Norton, I. T. (2012). Understanding fluid gel formation and properties. *Journal of Food Engineering*, *112*(3), 175-182. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.04.001

28. González-Tomás, L., Bayarri, S., Taylor, A. J., & Costell, E. (2008). Rheology, flavour release and perception of low-fat dairy desserts. *International Dairy Journal*, *18*(8), 858-866. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2007.09.010
29. Guardeno, L. M., Hernando, I., Llorca, E., Hernández-Carrión, M., & Quiles, A. (2012). Microstructural, physical, and sensory impact of starch, inulin, and soy protein in low-fat gluten and lactose free white sauces. *Journal of food science*, *77*(8), C859-C865. https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02798.x
30. Gunes, D. Z., Murith, M., Godefroid, J., Pelloux, C., Deyber, H., Schafer, O., & Breton, O. (2017). Oleofoams: Properties of Crystal-Coated Bubbles from Whipped Oleogels Evidence for Pickering Stabilization. *Langmuir*, *33*(6), 1563-1575. https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.6b04141
31. Hosseinvand, A., & Sohrabvandi, S. (2016). Physicochemical, textural and sensory evaluation of reduced-fat mustard sauce formulation prepared with Inulin, Pectin and β-glucan. *Croatian journal of food science and technology*, *8*(2), 46-52. https://doi.org/10.17508/CJFST.2016.8.2.01
32. Javidi, F., Razavi, S. M., & Amini, A. M. (2019). Cornstarch nanocrystals as a potential fat replacer in reduced fat O/W emulsions: A rheological and physical study. *Food Hydrocolloids*, *90*, 172-181. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.12.003
33. Karas, R., Skvarča, M., & Žlender, B. (2002). Sensory quality of standard and light mayonnaise during storage. *Food Technology and Biotechnology*, *40*(2), 119-127.
34. Labbafi, M., Thakur, R. K., Vial, C., & Djelveh, G. (2007). Development of an on-line optical method for assessment of the bubble size and morphology in aerated food products. *Food Chemistry*, *102*(2), 454-465. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.06.011
35. Laca, A., Sáenz, M. C., Paredes, B., & Díaz, M. (2010). Rheological properties, stability and sensory evaluation of low-cholesterol mayonnaises prepared using egg yolk granules as emulsifying agent. *Journal of Food Engineering*, *97*(2), 243-252. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.10.017
36. Lee, D. H., Jeong, I. J., & Kim, K. J. (2018). A desirability function method for optimizing mean and variability of multiple responses using a posterior preference articulation approach. *Quality and Reliability Engineering International*, *34*(3), 360-376. https://doi.org/10.1002/qre.2258
37. Liu, H., Xu, X. M., & Guo, S. D. (2007). Rheological, texture and sensory properties of low-fat mayonnaise with different fat mimetics. *LWT-Food Science and Technology*, *40*(6), 946-954. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.11.007
38. McClements, D. J. (2015). Reduced-fat foods: the complex science of developing diet-based strategies for tackling overweight and obesity. *Advances in Nutrition*, *6*(3), 338S-352S. https://doi.org/10.3945/an.114.006999
39. Mishima, S., Suzuki, A., Sato, K., & Ueno, S. (2016). Formation and microstructures of whipped oils composed of vegetable oils and high-melting fat crystals. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, *93*(11), 1453-1466. https://doi.org/10.1007/s11746-016-2888-4
40. Odriozola-Serrano, I., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2009). Impact of high-intensity pulsed electric fields variables on vitamin C, anthocyanins and antioxidant capacity of strawberry juice. *LWT-Food Science and Technology*, *42*(1), 93-100. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.05.008
41. Oppermann, A. K. L., Piqueras-Fiszman, B., De Graaf, C., Scholten, E., & Stieger, M. (2016). Descriptive sensory profiling of double emulsions with gelled and non-gelled inner water phase. *Food Research International*, *85*, 215-223. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.04.030
42. Saremnejad, F., Mohebbi, M., & Koocheki, A. (2020). Practical application of nonaqueous foam in the preparation of a novel aerated reduced-fat sauce. *Food and Bioproducts Processing*, *119*, 216-225. https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.11.004
43. Costa, A. R., Rosado, E. L., & Soares-Mota, M. (2012). Influence of the dietary intake of medium chain triglycerides on body composition, energy expenditure and satiety; a systematic review. *Nutricion hospitalaria*, *27*(1), 103-108.
44. Riener, J., Noci, F., Cronin, D. A., Morgan, D. J., & Lyng, J. G. (2009). The effect of thermosonication of milk on selected physicochemical and microstructural properties of yoghurt gels during fermentation. *Food Chemistry*, *114*(3), 905-911. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.10.037
45. Running, C. A., Craig, B. A., & Mattes, R. D. (2015). Oleogustus: the unique taste of fat. *Chemical senses*, *40*(7), 507-516. https://doi.org/10.1093/chemse/bjv036
46. Running, C. A., & Mattes, R. D. (2016). A review of the evidence supporting the taste of non-esterified fatty acids in humans. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, *93*(10), 1325-1336. https://doi.org/10.1007/s11746-016-2885-7
47. Shamsaei, S., Razavi, S. M. A., Emadzadeh, B., & Atayesalehi, E. (2017). The effect of basil seed gum and xanthan on the physical and rheological characteristics of low fat mayonnaise. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, *13*(1), 65-78. http://dx.doi.org/10.22067/ifstrj.v1395i0.37356

48. Sheng, L., Wang, Y., Chen, J., Zou, J., Wang, Q., & Ma, M. (2018). Influence of high-intensity ultrasound on foaming and structural properties of egg white. *Food Research International*, *108*, 604-610. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.04.007
49. Shrestha, L. K., Aramaki, K., Kato, H., Takase, Y., & Kunieda, H. (2006). Foaming properties of monoglycerol fatty acid esters in nonpolar oil systems. *Langmuir*, *22*(20), 8337-8345. https://doi.org/10.1021/la061204h
50. Shrestha, L.K., Shrestha, R.G., Sharma, S.C., Aramaki, K., (2008). Stabilization of nonaqueous foam with lamellar liquid crystal particles in diglycerol monolaurate/olive oil system. J. Colloid Interface Sci. 328, 172–179. https://doi.org/10.1016/j.jcis.2008.08.051
51. Shrestha, R. G., Shrestha, L. K., Solans, C., Gonzalez, C., & Aramaki, K. (2010). Nonaqueous foam with outstanding stability in diglycerol monomyristate/olive oil system. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, *353*(2-3), 157-165. https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2009.11.007
52. Sørensen, L. B., Cueto, H. T., Andersen, M. T., Bitz, C., Holst, J. J., Rehfeld, J. F., & Astrup, A. (2008). The effect of salatrim, a low-calorie modified triacylglycerol, on appetite and energy intake. *The American journal of clinical nutrition*, *87*(5), 1163-1169. https://doi.org/10.1093/ajcn/87.5.1163
53. Spence, C. (2015). Multisensory flavor perception. *Cell*, *161*(1), 24-35. https://doi.org/10.1016/j.cell.2015.03.007
54. Tchuenbou-Magaia, F. L., Norton, I. T., & Cox, P. W. (2009). Hydrophobins stabilised air-filled emulsions for the food industry. *Food Hydrocolloids*, *23*(7), 1877-1885. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.03.005
55. Thaiudom, S., & Khantarat, K. (2011). Stability and rheological properties of fat-reduced mayonnaises by using sodium octenyl succinate starch as fat replacer. *Procedia Food Science*, *1*, 315-321. https://doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.049
56. Velázquez, A. L., Vidal, L., Varela, P., & Ares, G. (2020). Cross-modal interactions as a strategy for sugar reduction in products targeted at children: Case study with vanilla milk desserts. *Food Research International*, *130*, 108920. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108920.
57. Sorensen, L. B., Cueto, H. T., Andersen, M. T., Bitz, C., Holst, J. J., Rehfeld, J. F., & Astrup, A. (2008). The effect of salatrim, a low-calorie modified triacylglycerol, on appetite and energy intake. *The American journal of clinical nutrition*, *87*(5), 1163-1169. https://doi.org/10.1093/ajcn/87.5.1163
58. Shamsaee, S., Razavi, S.M.A., Emadzadeh, B., Salehi, E.A., (2017). The effect of basil seed gum and xanthan on the physical and rheological characteristics of low fat mayonnaise. Iran. Food Sci. Technol. Res. J. 13, 65–78. https://doi.org/https://doi.org/10.22067/ifstrj.v1395i0.37356
59. Shrestha, R.G., Shrestha, L.K., Solans, C., Gonzalez, C., Aramaki, K., (2010). Nonaqueous foam with outstanding stability in diglycerol monomyristate/olive oil system. Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp. 353, 157–165. https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2009.11.007
60. Friberg, S.E., (2010). Foams from non-aqueous systems. Curr. Opin. Colloid Interface Sci. 15, 359–364. https://doi.org/10.1016/j.cocis.2010.05.011
61. FDA, (2018). Title 21--Food and drugs Chapter i--Food and drug administration department of health and human services Subchapter b--Food for human consumption Part 169 Food dressings and flavorings [WWW Document]. URL https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?CFRPart=169
62. Guardeño, L.M., Hernando, I., Llorca, E., Hernández-Carrión, M., Quiles, A., (2012). Microstructural, Physical, and Sensory Impact of Starch, Inulin, and Soy Protein in Low-Fat Gluten and Lactose Free White Sauces. J. Food Sci. 77, 1–7. https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02798.x
63. Syarifuddin, A., Septier, C., Salles, C., Thomas-Danguin, T., 2016. Reducing salt and fat while maintaining taste: An approach on a model food system. Food Qual. Prefer. 48, 59–69. https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2015.08.009